

Verankerung für vorgespannte und/oder belastete Zugelemente

Die Erfindung betrifft eine Verankerung für zumindest ein vorgespanntes oder belastetes Zugelement, bei der die Zugkraft durch einen oder mehrere Keile auf einen Ankerkörper übertragbar ist, und eine keilförmige Schicht einen gegenüber den anderen Teilen der Verankerung niedrigeren Elastizitätsmodul aufweist, wobei die größte Dicke der keilförmigen Schicht, gemessen normal zur Längsachse des Zugelementes, im lastnahen Bereich der Verankerung liegt.

Keilverankerungen werden seit vielen Jahren für das Vorspannen von Spannstählen aus hochfestem Stahl verwendet. Sie beruhen auf einem einfachen Prinzip und sind mit geringem Zeit- und Materialaufwand herstellbar. Im Spannbetonbau ist die Keilverankerung die häufigste Verankerungsart.

Bei Keilverankerungen wird die Kraft im Zugelement über Schubspannungen in die Keile und von dort weiter in den Ankerkörper eingeleitet. Keile und Ankerkörper sind über eine geneigte Ebene, auf der die Keile gleiten können, in Kontakt. Durch die Keilform entsteht beim Belasten des Zugelementes eine Andruckkraft normal zum Zugelement, die die Keile an das Zugelement drückt.

International werden anstelle von Stahl vermehrt neuartige Materialien wie Faserverbundwerkstoffe für vorgespannte oder belastete Zugelemente, wie Lamellen, Drähte, Stäbe oder Litzen, verwendet. Im Vergleich zu den metallischen Zugelementen weisen die Faserverbundwerkstoffe einen sehr hohen Korrosionswiderstand und ein geringes Gewicht auf. Der wesentliche Nachteil der Faserverbundwerkstoffe ist die hohe Querdruckempfindlichkeit.

Die Höhe der maximal übertragbaren Schubspannung zwischen Keil und Zugelement richtet sich nach dem Anpressdruck. Je höher der Anpressdruck um so höher die übertragbare maximale Schubspannung. Der Anpressdruck verursacht einen Querdruck im Zugelement. Bei Materialien, die auf Querdruck empfindlich sind, wie z.B. Faserverbundwerkstoffe, darf der maximal auftretende Querdruck eine bestimmte Größe nicht überschreiten.

Um die Schubspannungen zwischen Keil und Zugelement zu aktivieren, ist ein Mindestmaß an Schlupf notwendig. Bei einer üblichen Keilverankerung entsteht im lastnahen Bereich ein hoher Anpressdruck zwischen Keil und Zugelement, der dort auch eine hohe Schubspannung entstehen läßt, die schnell wieder abklingt und bis zum lastfernen Bereich nahezu konstant

bleibt. Die Summe der Schubspannungen entlang der gesamten Kontaktfläche zwischen Keil und Zugelement entspricht der Zugkraft im Zugelement. Die größte Schubspannung tritt an der Stelle des maximalen Anpressdrucks auf, an der auch der größte Anteil der Zugkraft je Oberflächeneinheit übertragen wird. Ein Nachteil ist, dass von der Stelle der maximalen Schubspannung bis zum lastfernen Bereich die Schubspannung kaum aktiviert werden kann. Ein weiterer Nachteil einer konventionellen Verankerung ist, dass der größte maximale Anpressdruck und die größte maximale Schubspannung relativ gering sein müssen, da Materialien, wie Faserverbundwerkstoffe, bei geringen Anpressdrücken oder Querdrücken versagen.

In der WO 95/29308 ist eine konische Vergußverankerung für Faserverbundwerkstoffe beschrieben. Die Ankerbüchse weist einen konischen Hohlraum auf. Der Hohlraum wird entlang der Richtung des Zugelementes in Abschnitten mit Vergußmasse mit unterschiedlichem Elastizitätsmodul ausgefüllt. Im Abschnitt am lastnahen Bereich wird Vergußmasse mit dem niedrigsten Elastizitätsmodul eingebaut. In den folgenden Abschnitten bis zum lastfernen Bereich wird Vergußmaterial mit immer höher werdenden Elastizitätsmodulen verwendet. Man erreicht damit eine gleichmäßigere Kraftübertragung vom Zugelement auf den Vergußkörper. Die Herstellung dieser Schichten ist jedoch ein aufwendiger Prozess.

Die EP 0 197 912 A2 offenbart eine Verankerung für Spannglieder aus hochfestem Stahl, bei der der Ankerkörper aus zwei Schichten mit unterschiedlichen Materialien, wie Kunststoff oder Weichmetall, besteht. Die Schicht aus weicherem Material ist mit konstanter Dicke über die gesamte Keillänge oder mit einer über die Keillänge veränderlichen Schicht, die jedoch im lastnahen Bereich die kleinste Dicke aufweist, ausgeführt. Bei Belastung des Zugelementes kommt es zu hohen Querdruckspitzen im lastnahen Bereich. Querdruckempfindliche Materialien, wie Faserverbundwerkstoffe, können diesen hohen Querdrücken nicht standhalten und versagen dadurch vorzeitig.

In der EP 0 197 912 ist weiters eine Variante gezeigt, gemäß der in einem einteiligen Ankerkörper zwei in Längsrichtung des Zugelementes hintereinander liegende Keile vorgesehen sind, von denen der lastnähere Keil aus einem Pressteil, der weicher ist als das Zugelement, gebildet ist, wobei dieser keilförmige Pressteil seine größte Dicke im lastnahen Bereich aufweist. Der lastfernere Keil ist als Ankerkeil ausgebildet und weist seine größte Dicke im lastfernen Bereich auf, sodass hierdurch Spannungsspitzen und somit Querdruckspitzen am Zugelement auftreten.

Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung einer Verankerung, bei der die Anpressdrücke und die Schubspannungen, die auf das zu verankernde Zugelement wirken, über die Einspannlänge des Zugelementes gleichmäßig verteilt sind oder vom lastnahen zum lastfernen Bereich leicht ansteigen und geringere maximale Werte für Anpressdrücke und Schubspannungen aufweisen als die bekannten Ausführungsformen. Zudem soll gegenüber einer Vergußverankerung die Herstellung und das Installieren auf der Baustelle wesentlich vereinfacht möglich sein.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Keil und/oder der Ankerkörper mindestens von zwei keilförmigen aneinanderliegenden Schichten gebildet ist (sind), wobei mindestens eine der Schichten aus einem Material mit einem niedrigeren Elastizitätsmodul gebildet ist als das Material, aus dem die weitere(n) Schicht(en) des Keiles und/oder des Ankerkörpers gebildet ist (sind), und die größte Dicke dieser Schicht im lastnahen Bereich vorgesehen ist.

Hierdurch ist es möglich, den Anpressdruck und die Schubspannungen zwischen Keil und Zugelement vom lastnahen zum lastfernen Bereich hin gleichmäßig zu verteilen oder sogar leicht ansteigen zu lassen. Wenn das Verhältnis der Elastizitätsmodule der Schichten ausreichend groß ist, dann wird die Gesamtsteifigkeit beider Schichten normal zur Längsachse des Zugelementes hauptsächlich durch die Schicht aus Material mit niedrigem Elastizitätsmodul bestimmt. Je dicker die Schicht mit niedrigem Elastizitätsmodul ist, desto geringer ist die Steifigkeit normal zur Längsachse des Zugelementes. Daher ist im lastnahen Bereich, wo die Dicke der Schicht mit niedrigem Elastizitätsmodul am größten ist, die Steifigkeit normal zur Längsachse des Zugelementes geringer als im lastfernen Bereich. Diese geringere Steifigkeit im lastnahen Bereich dieses statisch unbestimmten Systems bewirkt einen geringeren maximalen Anpressdruck und somit eine gleichmäßige Verteilung des Anpressdrucks oder einen leichten Anstieg vom lastnahen zum lastfernen Bereich. Dadurch wird es auch möglich, die Schubspannungen im Kontaktbereich zwischen Zugelement und Keil über die gesamte Länge besser zu aktivieren. Der hierbei erreichte geringe maximale Anpressdruck verhindert ein Zerstören des Zugelementes zufolge des Querdrucks.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Verankerung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung wird nun nachfolgend an mehreren Ausführungsbeispielen unter Bezug auf die beigelegte Zeichnung näher erläutert.

Dabei zeigen:

Fig. 1 einen Längsschnitt mit Ankerkörper, Zugelement und zwei Keilen mit jeweils drei Schichten, wovon zwei Schichten des Keils einen niedrigen Elastizitätsmodul und eine Schicht einen hohen Elastizitätsmodul aufweisen, wobei eine Schicht mit niedrigem Elastizitätsmodul und veränderlicher Dicke nahe der Gleitebene zwischen Keil und Ankerkörper angeordnet ist;

Fig. 2 in Diagrammform die idealisierten Schubspannungsverteilungen entlang der Kontaktfläche zwischen Keil und Zugelement für eine herkömmliche Verankerung und eine erfindungsgemäße Verankerung;

Fig. 3 einen Querschnitt entlang der Schnittlinie III-III von Fig. 1, wobei hier das Zugelement einen rechteckigen Querschnitt aufweist und zwei Keile aus je drei Schichten eingesetzt werden;

Fig. 4 einen Längsschnitt mit Ankerkörper, Zugelement und zwei Keilen, wobei der Ankerkörper aus einer Schicht mit hohem Elastizitätsmodul und einer Schicht mit niedrigem Elastizitätsmodul und veränderlicher Dicke, die nahe der Gleitebene zwischen Keil und Ankerbüchse angeordnet ist, besteht;

Fig. 5 einen Querschnitt entlang der Schnittlinie V-V von Fig. 4, wobei das Zugelement hier einen kreisförmigen Querschnitt aufweist und zwei Keile ohne Schichten und ein Ankerkörper mit zwei Schichten eingesetzt werden;

Fig. 6 einen Längsschnitt durch eine Verankerung, in der sieben Drähte, Stäbe oder Litzen verankert werden und jeder Keil aus einer Schicht mit hohem Elastizitätsmodul und einer Schicht mit niedrigem Elastizitätsmodul und veränderlicher Dicke, die auf der Seite des Zugelementes angeordnet ist, besteht;

Fig. 7 einen Querschnitt entlang der Schnittlinie VII-VII von Fig. 6, wobei das Zugelement hier einen kreisförmigen Querschnitt aufweist und je Zugelement drei Keile aus zwei Schichten eingesetzt werden;

Fig. 8 einen Längsschnitt durch eine Verankerung in asymmetrischer Ausführung, bestehend aus Ankerkörper, Zugelement und einem Keil, der aus einer Schicht mit hohem Elastizitätsmodul und zwei Schichten mit niedrigem Elastizitätsmodul gefertigt ist, wovon

eine Schicht mit niedrigem Elastizitätsmodul mit veränderlicher Dicke nahe der Gleitebene von Keil und Ankerbüchse angeordnet ist, und das Zugelement gegen eine zur Achse des Zugelementes parallele Ebene drückt und damit die Kräfte aus dem Zugelement in den Keil und die parallele Ebene eingeleitet werden;

Fig. 9 einen Längsschnitt durch eine Verankerung, die mit dreischichtigen Keilen ausgeführt ist, wovon zwei Schichten mit niedrigem Elastizitätsmodul und veränderlicher Dicke im lastnahen Bereich die größte Dicke aufweisen und nur eine Schicht mit niedrigem Elastizitätsmodul bis zum lastfernen Bereich geführt wird;

Fig. 10 einen Längsschnitt durch eine Verankerung, deren Keile mit einer Schicht mit niedrigem und einer Schicht mit hohem Elastizitätsmodul ausgeführt sind, wovon die Schicht mit niedrigem Elastizitätsmodul und veränderlicher Dicke weiter zum lastnahen Bereich geführt wird als die Schicht mit hohem Elastizitätsmodul;

Fig. 11 einen Längsschnitt durch eine Verankerung, deren Keile mit einer Schicht mit niedrigem und einer Schicht mit hohem Elastizitätsmodul ausgeführt ist, wobei die Schicht mit niedrigem Elastizitätsmodul sich nach einer Kurve höherer Ordnung zum lastfernen Bereich hin verjüngt.

Fig. 12 zeigt ein Detail der Verankerung in vergrößertem Maßstab.

Die Fig. 1 zeigt die Verankerung 7 im Längsschnitt mit einem Keil 3, der aus zwei Schichten 32, 33 mit niedrigem Elastizitätsmodul und einer Schicht 31 mit höherem Elastizitätsmodul gebildet ist. Die Schichten 31, 32, 33 verlaufen entlang der Längsachse 4 des Zugelementes 1. Die Schicht mit niedrigerem Elastizitätsmodul und konstanter Dicke 33 wird zum Ausgleich von eventuellen Spannungsspitzen, die durch unebene Flächen oder sonstige Imperfektionen entstehen können, eingebaut. Die andere Schicht 32 mit niedrigerem Elastizitätsmodul ist nahe dem Ankerkörper 2 angeordnet und weist die größte Dicke im lastnahen Bereich 5 auf, die zum lastfernen Bereich 6 hin abnimmt. Mit zunehmender Dicke der Schicht 32 mit niedrigerem Elastizitätsmodul nimmt die Gesamtsteifigkeit des Keiles 3 normal zur Längsachse 4 des Zugelementes 1 ab. Der Anpressdruck steigt vom lastnahen 5 zum lastfernen Bereich 6 hin leicht an und es kann die gesamte Kontaktfläche zwischen Keil 3 und Zugelement 1 für die Übertragung der Schubspannungen ausgenutzt werden. Bei herkömmlichen Keilverankerungen kommt es im lastnahen Bereich 6 zu großen Anpressdrücken und damit auch zu einer in einem kurzen Bereich stark ansteigenden Schubspannung, siehe Linie c in Fig. 2. Durch den vom lastnahen 5 zum lastfernen Bereich 6

gleichmäßigen oder auch leicht ansteigenden Anpressdruck kommt es zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Schubspannung, wie die Linie b von Fig. 2 veranschaulicht. Zusätzlich ist der maximale Anpressdruck geringer, was besonders bei der Anwendung von Faserverbundwerkstoffen von Bedeutung ist. Der Anpressdruck verteilt sich entsprechend den Steifigkeiten der Schichten 31 und 32 und kann in Abhängigkeit des Verhältnisses der Elastizitätsmodule und der Schichtdicken im lastnahen 5 und im lastfernen Bereich 6 variiert werden.

Der Schnitt III-III in Fig. 1 ist in Fig. 3 dargestellt und zeigt den Querschnitt von Fig. 1 für die Verankerung eines Zugelementes 1 mit rechteckigem Querschnitt, ausgeführt als Lamelle. In dieser Verankerung kommen zwei Keile 3 mit ebenen Flächen zum Einsatz.

Die Verankerung 7 gemäß Fig. 4 basiert auf dem gleichen Prinzip wie die Verankerung 7 in Fig. 1, jedoch mit dem Unterschied, dass der Keil 3 einen höheren Elastizitätsmodul aufweist, der Ankerkörper 2 hingegen aus einer Schicht 22 mit niedrigerem Elastizitätsmodul, die nahe der Gleitfläche angeordnet ist, und einer Schicht 21 mit höherem Elastizitätsmodul aufgebaut ist.

Der Schnitt V-V in Fig. 4 ist in Fig. 5 dargestellt und zeigt den Querschnitt von Fig. 4 für die Verankerung eines Drahtes, einer Litze oder eines Stabes 1. In dieser Verankerung 7 kommen zwei einander ergänzende Keile 3 mit gerundeten Flächen zum Einsatz.

Fig. 6 zeigt eine Verankerung 7 von sieben Zugelementen 1 im Längsschnitt. Der Schnitt nach der Linie VII-VII ist in Fig. 7 dargestellt und zeigt den Querschnitt der Verankerung 7. Hier ist jeder Keil 3 in eine Schicht 32 mit niedrigerem Elastizitätsmodul und eine Schicht 31 mit höherem Elastizitätsmodul geteilt. Die Schicht 32 mit niedrigerem Elastizitätsmodul ist im Keil 3 beim Spannelement 1 angeordnet und die Schicht 31 mit dem höheren Elastizitätsmodul 31 ist nahe der Gleitfläche mit dem Ankerkörper 2 angeordnet. Gemäß Fig. 7 wird das Zugelement 1 mit drei Keilen 3 mit gerundeten Flächen gehalten.

Bei der Verwendung von Lamellen als Zugelement 1 müssen nicht immer mehrere Keile 3 zur Verankerung verwendet werden, siehe Fig. 8. Es kann auch nur ein Keil 3 aus Schichten 31, 32, 33 mit niedrigen und höheren Elastizitätsmodulen, die die Lamelle 1 gegen eine ebene, parallel zur Lamelle 1 liegenden Schicht 23, die Teil des Ankerkörpers 2 ist, drückt, eingesetzt werden. Der Keil 3 ist hier zusätzlich mit einer Schicht 33 mit niedrigerem Elastizitätsmodul und konstanter Dicke ausgeführt, um eventuelle Spannungsspitzen, die durch Imperfektionen entstehen könnten, auszugleichen. Ebenso weist der Ankerkörper 2

eine Schicht 23 mit niedrigerem Elastizitätsmodul und konstanter Dicke nahe der Lamelle 1 auf. Diese Verankerung 7 bietet besondere Vorteile bei einer nachträglichen Verstärkung eines Tragwerks, da die Verankerung 7 in geringem Abstand von der Bauteiloberfläche eingebaut werden kann und das entstehende Moment auf die Verankerung 7 gering gehalten werden kann.

Der Keil 3 kann auch aus mehreren Schichten 31, 32, 34 mit niedrigeren und höheren Elastizitätsmodulen 32, 34, wie in Fig. 9 dargestellt, bestehen, wobei auch hier die Schichten 32, 34 mit niedrigerem Elastizitätsmodul eine größere Dicke im lastnahen Bereich 5 aufweisen und diese nicht alle in den lastfernen Bereich 6 geführt werden.

In Fig. 10 ist eine Verankerung 7, bei der die Keile 3 aus einer Schicht 32 mit niedrigerem Elastizitätsmodul und einer Schicht 31 mit höherem Elastizitätsmodul bestehen, dargestellt. Die Besonderheit hier ist, dass die Schicht 32 mit niedrigerem Elastizitätsmodul beim lastnahen Bereich der Schicht 31 mit höherem Elastizitätsmodul die größte Dicke aufweist, jedoch weiter geführt wird, um die Krafteinleitung und auftretende Schwingungsbeanspruchungen besser einleiten zu können.

In Fig. 11 ist eine Verankerung 7 mit einem Keil 3 aus einer Schicht 32 mit niedrigerem Elastizitätsmodul und einer Schicht 31 mit höherem Elastizitätsmodul ausgeführt, wobei die Dicke der Schicht 32 mit niedrigerem Elastizitätsmodul zur besseren Anpassung des Anpressdrucks nicht linear, sondern nach einer Kurve höherer Ordnung ihre Dicke verändert.

Die Schichten 32, 33, 34, 22, 23 aus Material mit niedrigerem Elastizitätsmodul können auch durch geometrische Anpassungen, wie Poren, Löcher, Hohlräume oder sonstige Ausnehmungen, erstellt werden.

Das Erreichen von Schichten 32, 33, 34, 22, 23 mit niedrigeren und höheren Elastizitätsmodulen 21, 31 in einem Ankerkörper 2 oder einem Keil 3 kann durch spezielle Behandlung, wie z.B. durch Erwärmungs- oder Abkühlvorgänge, bei der Herstellung erreicht werden. Dadurch ist es möglich, Schichten mit veränderlichem Elastizitätsmodul, die entlang der Längsachse 4 des Zuelementes 1 den gleichen Elastizitätsmodul und im lastnahen Bereich 5 die größte Dicke aufweisen, herzustellen.

Die Ausführung mit einem Keil 3 aus mindestens einer Schicht 32 mit niedrigerem und einer Schicht 31 mit höherem Elastizitätsmodul oder mit einem Ankerkörper 2 aus mindestens

einer Schicht 22 mit niedrigerem und einer Schicht 21 mit höherem Elastizitätsmodul können miteinander kombiniert zur Anwendung kommen. Genauso können die Schichten mit niedrigerem Elastizitätsmodul durch geometrische Anpassungen, wie Poren, Löcher, Hohlräume oder sonstige Ausnehmungen, ergänzt oder ersetzt werden.

Es wird nun beispielhaft die Herstellung einer Verankerung 7 eines Zugelementes 1, gebildet von einer CFK-Lamelle 1, die üblicherweise einen Elastizitätsmodul zwischen 165000 und 300000 N/mm<sup>2</sup>, eine Festigkeit zwischen 1500 und 3500 N/mm<sup>2</sup> und eine Dicke von 0,5 bis 2,0 mm aufweist, wie in Fig. 1 dargestellt, beschrieben. Die Schichten 32, 33 mit niedrigerem Elastizitätsmodul sind aus Kunststoff mit einem Elastizitätsmodul von 5800 N/mm<sup>2</sup> und die Schicht 31 mit höherem Elastizitätsmodul und der Ankerkörper 2 aus Stahl mit einem Elastizitätsmodul von 210000 N/mm<sup>2</sup> gefertigt. Die Gleitebene schließt mit der Längsachse 4 des Zugelementes 1 einen Winkel von 15° ein und die Keillänge, parallel zum Zugelement 1 gemessen, beträgt 80 mm. Die Schicht 32 mit niedrigerem Elastizitätsmodul weist im lastnahen Bereich 5 eine Dicke von 4 mm und im lastfernen Bereich 6 eine Dicke von 2 mm auf. Die Dicke der Schicht 32 wird dabei immer normal auf die Längsachse 4 des Zugelementes 1 gemessen. Bei Erreichen der Festigkeit im Zugelement 1 entsteht dann in der Kontaktfläche zwischen dem Zugelement 1 und dem Keil 3 ein Anpressdruck, der vom lastnahen 5 zum lastfernen Bereich 6 von ca. 80 N/mm<sup>2</sup> auf 100 N/mm<sup>2</sup> ohne lokale Spannungsspitzen ansteigt. Die Schubspannungen sind gleichmäßig verteilt, weisen keine lokalen Spitzen auf und ergeben für einen Reibbeiwert von 0,3 einen Maximalwert von ca. 45 N/mm<sup>2</sup>. CFK-Lamellen 1 können durchaus höheren Anpressdrücken und Schubspannungen standhalten, weshalb ein Versagen des Zugelementes nur mehr in der freien Länge auftreten kann.

Stahl kann für die Schicht 31 des Keils 3 mit höherem Elastizitätsmodul und Epoxidharz für die Schicht 32, 33 mit niedrigerem Elastizitätsmodul verwendet werden. Der Elastizitätsmodul von Stahl beträgt 210000 N/mm<sup>2</sup> und der von Epoxidharz zirka 5800 N/mm<sup>2</sup>. Die Herstellung eines Keiles 3, wie in Fig. 6 dargestellt, kann in einer Schalung erfolgen. Damit die Schalung nach dem Aushärten des Epoxidharzes leicht entfernt werden kann, empfiehlt es sich, diese aus Teflon herzustellen. Die Schicht 31 aus Stahl muss vorab gefräst werden und wird vor dem Vergießen in der Schalung befestigt. Damit keine Luftpinschlüsse beim Vergießen entstehen, ist es zweckmäßig, das Epoxidharz von unten nach oben zu vergießen. Dazu kann das Epoxidharz mit einem Überdruck durch eine Öffnung, die sich am Tiefpunkt der Schalung befindet, eingepresst werden. Nach dem Aushärten und Ausschalen erhält man einen erfindungsgemäßen zweischichtigen Keil 3.



Anstelle von Stahl und Epoxidharz können auch andere Materialien eingesetzt werden, wichtig dabei ist nur, daß der Unterschied zwischen höherem und niedrigerem Elastizitätsmodul groß genug ist. Der höhere Elastizitätsmodul muß mindestens zweimal höher sein als der niedrigere Elastizitätsmodul, günstig ist es, wenn er zwischen 20 und 30-mal höher ist.

Bei Epoxidharzen kann der Elastizitätsmodul durch die Zugabe von Füllstoffen, wie Kugeln aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mit Durchmessern zwischen 0,5 und 3 mm, um mehr als das doppelte erhöht werden. Es ist daher möglich, für die Schicht 22, 32 mit geringerem Elastizitätsmodul aus Epoxidharz und für die Schicht 21, 31 mit höherem Elastizitätsmodul das gleiche Epoxidharz jedoch mit  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Kugeln zu verwenden.

Keile 3 für als Lamellen gestaltete Zugelemente 1 weisen keine gekrümmten Flächen auf. Sie können in einer Schalung durch Gießen oder maschinell mit einer Strangpresse hergestellt werden. Dies funktioniert so, daß der Querschnitt des Keils 3 mit den Schichten 21, 22, 31, 32, 33, 34 mit niedrigerem und höherem Elastizitätsmodul als Strang aus einem Mundstück gepresst wird. Von diesem Strang werden anschließend die Keile in den erforderlichen Breiten geschnitten.

Die kraftschlüssige Verbindung der Schichten 31, 32, 33, 34, 21, 22 mit niedrigerem und höherem Elastizitätsmodul des Keils 3 oder Ankerkörpers 2 kann durch Verzahnung und/oder Klebung hergestellt werden. Die Verzahnung kann, wie in Fig. 12 dargestellt, ausgeführt sein. Es sind aber auch andere als in Fig. 12 dargestellte ineinandergreifende Erhöhungen bzw. Vertiefungen möglich. Um das Hantieren zu erleichtern und die Kraftübertragung zu verbessern, kann die Verzahnung noch zusätzlich verklebt sein. Die kraftschlüssige Verbindung kann schon beim Herstellen erfolgen, wenn die Schicht 21, 31 mit höherem und die Schicht 22, 32, 33, 34 mit niedrigerem Elastizitätsmodul zusammen in einer Schalung vergossen werden. Wird die Verbindung der Schichten 31, 32, 33, 34 bzw. 21, 22 nachträglich mit einer Klebung ausgeführt, sollten die Kontaktflächen aufgeraut und fettfrei sein. Für die Verklebung eignen sich besonders dünnflüssige Kleber, die auch hohen Belastungen widerstehen können, wie beispielsweise der Fünf-Minuten-Epoxid-Klebstoff Hysol 3430 von Loctite.

Werden die Zugelemente 1 mit Keilen 3 verankert, kann die Schubübertragung zwischen Zugelement 1 und Keil 3 durch Reibung, Klebung und/oder Verzahnung erfolgen. Erfolgt die Übertragung durch Reibung, ist es zweckmäßig, diese durch Aufrauen der Kontaktflächen zu erhöhen oder einen Friktionswerkstoff einzusetzen. Ein guter

Friktionswerkstoff ist zum Beispiel ein Kohlefaserkunststoff, bei dem die Kohlefasern einen rechten Winkel mit der Reibfläche einschließen.

Wird das Zugelement 1 und der Keil 3 durch eine Klebung verbunden, sind Epoxidharzkleber wie Sikadur 30 der Firma SIKA oder der schnellhärtende Fünf-Minuten-Epoxid-Klebstoff Hysol 3422 der Firma Loctite günstig. Die Verklebung kann durch eine Profilierung, ähnlich wie zwischen den Schichten 21, 22 bzw. 31, 32 mit niedrigerem und höherem Elastizitätsmodul in Fig. 12 dargestellt, verbessert werden. Eine kurze Aushärungszeit des Klebers ist vorteilhaft für die Ausführung. Das Aushärten von Klebstoffen auf Epoxidharzbasis kann durch die Zufuhr von Wärme beschleunigt werden. Annähernd wird je 10° Erwärmung die Aushärungszeit um die Hälfte reduziert. Die Erwärmung kann beispielsweise durch einen Heizdraht im Keil erfolgen. Alternativ kann auch das Zugelement 1 anstelle des Heizdrahtes verwendet werden. Wird an beiden Seiten der Klebefuge im lastnahen und im lastfernen Bereich eine Stromspannung angelegt und fließt ein Strom, dann erwärmt sich das Zugelement 1 und damit auch der Klebstoff. Je geringer der Widerstand, umso höher ist der Stromfluss und damit auch die erzeugte Wärme. Wird elektrisch leitender Klebstoff verwendet, können die elektrischen Kontakte auch im lastnahen und lastfernen Bereich des Keils 3 eingebaut werden und durch Anlegen einer Spannung den Klebstoff erwärmen.

Die Verbindung kann auch durch eine Profilierung hergestellt werden. Hierbei ist es günstig, wenn die Profilierung regelmäßig, beispielsweise im Querschnitt, als Folge von Sägezähnen oder als Sinuswelle ausgeführt wird. Auf den Keilen 3 muss die Profilierung gegengleich zur Profilierung des Zugelementes 1 sein, damit eine Verzahnung möglich ist. Bei der Herstellung des Zugelementes 1 kann die Profilierung beidseitig mit Rollen in das weiche Matrixmaterial eingedrückt werden. Die Profilierung des Keils 3 kann beim Vergießen durch entsprechende Formgebung in der Schalung erfolgen.

**Patentansprüche:**

1. Verankerung (7) für zumindest ein vorgespanntes oder belastetes Zugelement (1), bei der die Zugkraft durch einen oder mehrere Keile (3) auf einen Ankerkörper (2) übertragbar ist, und eine keilförmige Schicht (22, 32, 34) einen gegenüber den anderen Teilen der Verankerung (7) niedrigerem Elastizitätsmodul aufweist, wobei die größte Dicke der keilförmigen Schicht (22, 32, 34) gemessen normal zur Längsachse (4) des Zugelementes (1) im lastnahen Bereich (5) der Verankerung (7) liegt, dadurch gekennzeichnet, dass der Keil (3) und/oder der Ankerkörper (2) mindestens von zwei keilförmigen aneinanderliegenden Schichten (21, 22, 31, 32) gebildet ist (sind), wobei mindestens eine der Schichten (22, 32, 34) aus einem Material mit einem niedrigeren Elastizitätsmodul gebildet ist als das Material, aus dem die weitere(n) Schicht(en) des Keiles (3) und/oder des Ankerkörpers (2) gebildet ist (sind), und die größte Dicke dieser Schicht (22, 32, 34) im lastnahen Bereich vorgesehen ist.
2. Die Verankerung (7) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in der Schicht (22, 32, 34) mit niedrigerem Elastizitätsmodul die Steifigkeit dieser Schicht normal zur Längsachse (4) des Zugelementes (1) verringernde Poren, Löcher, Aussparungen oder Schlitzte angeordnet sind.
3. Die Verankerung (7) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die unterschiedlichen Elastizitätsmodule der einzelnen Schichten (21, 22, 23, 31, 32, 33, 34) durch spezielle Behandlungen, wie Erwärmungs- oder Abkühlvorgänge, bei deren Herstellung bewirkt sind.
4. Die Verankerung (7) nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Ankerkörper (2) als Kopplung für zwei Zugelemente (1) mit einander entgegengesetzt gerichteten Aufnahmen für Keile (3) versehen ist.
5. Verankerung (7) nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Schicht (22, 32, 34) mit niedrigerem Elastizitätsmodul mit der Schicht (31, 21) mit höherem Elastizitätsmodul durch eine kraft- und/oder formschlüssige Verbindung, wie eine Profilierung mit Gegenprofilierung, z.B. eine Verzahnung, und/oder durch eine Verklebung, miteinander verbunden ist.
6. Verankerung (7) nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine Schubkraftübertragung zwischen dem Keil (3) und dem

Zugelement (1) durch Kraft- und/oder Formschluss gesichert ist, wie z.B. durch Reibung, Klebung oder eine Profilgestaltung, z.B. durch eine Verzahnung mit Gegenverzahnung.

7. Verankerung (7) nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis von niedrigerem zu höherem Elastizitätsmodul mindestens 1:2, vorzugsweise mindestens 1:10, beträgt, insbesondere zwischen 1:20 und 1:30 liegt.

8. Verankerung (7) nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die keilförmige Schicht mit niedrigerem Elastizitätsmodul von zwei ebenfalls keilförmigen Teilschichten (32, 34) mit unterschiedlichen Elastizitätsmodulen gebildet ist.

9. Verankerung (7) nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Keil und/oder der Ankerkörper, soweit aus einem Material mit höherem Elastizitätsmodul gebildet, mit den Elastizitätsmodul-erhöhenden Füllstoffen, wie Körpern aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , versehen ist.

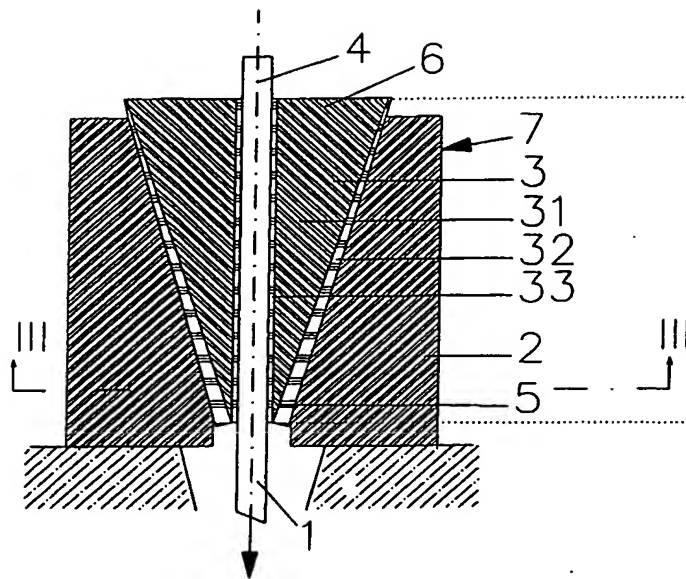


Fig. 1

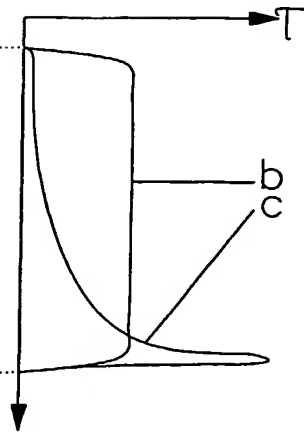


Fig. 2

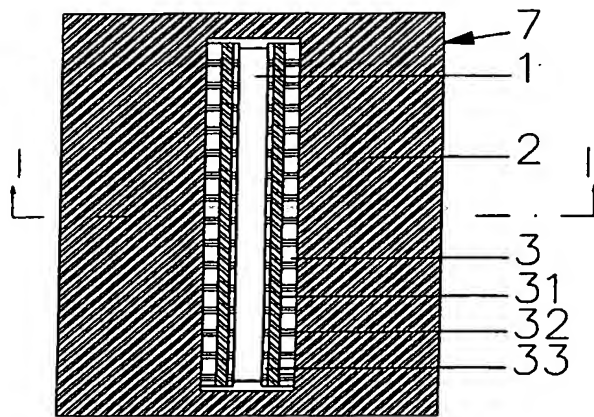


Fig. 3

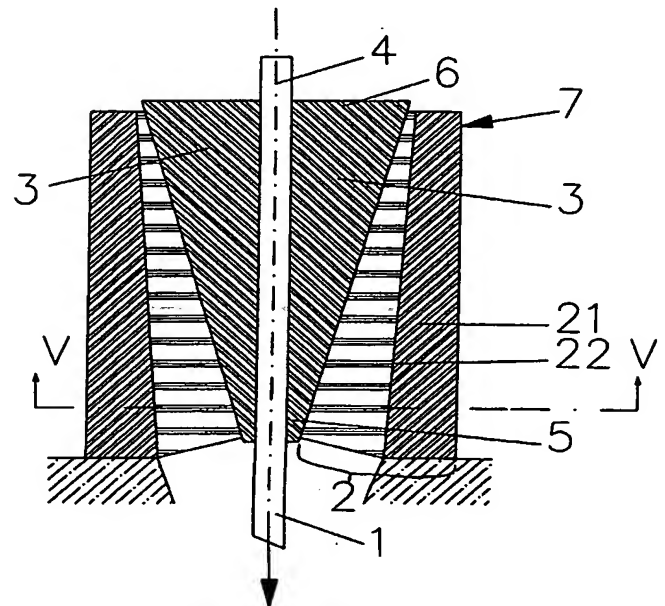


Fig. 4

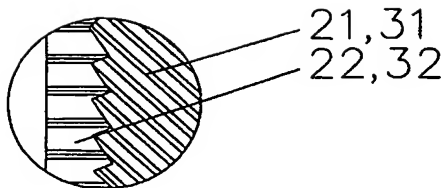


Fig. 12

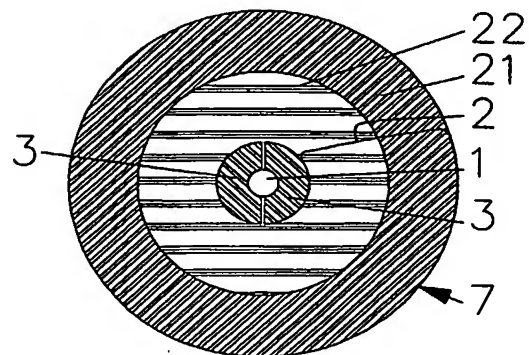
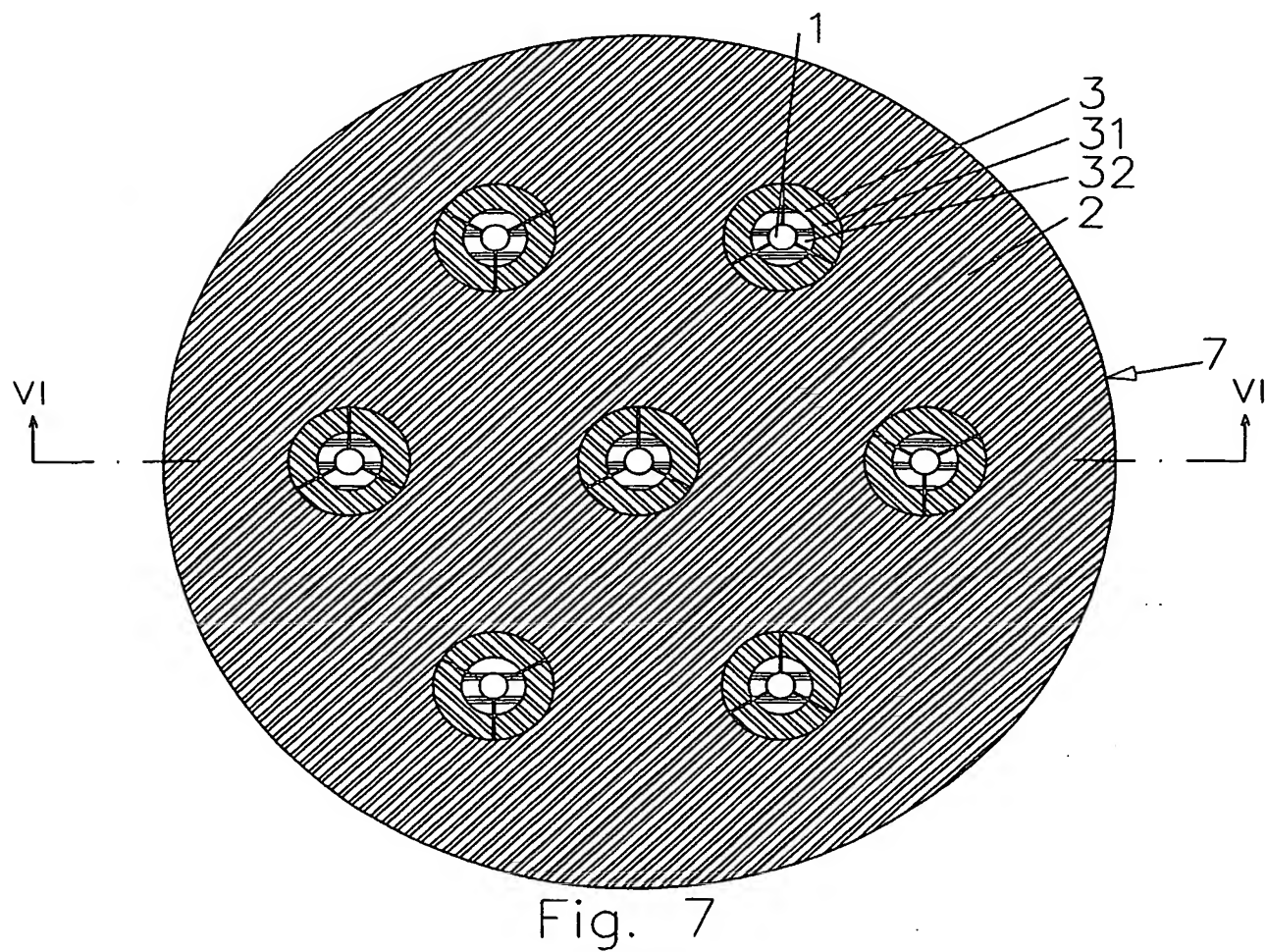
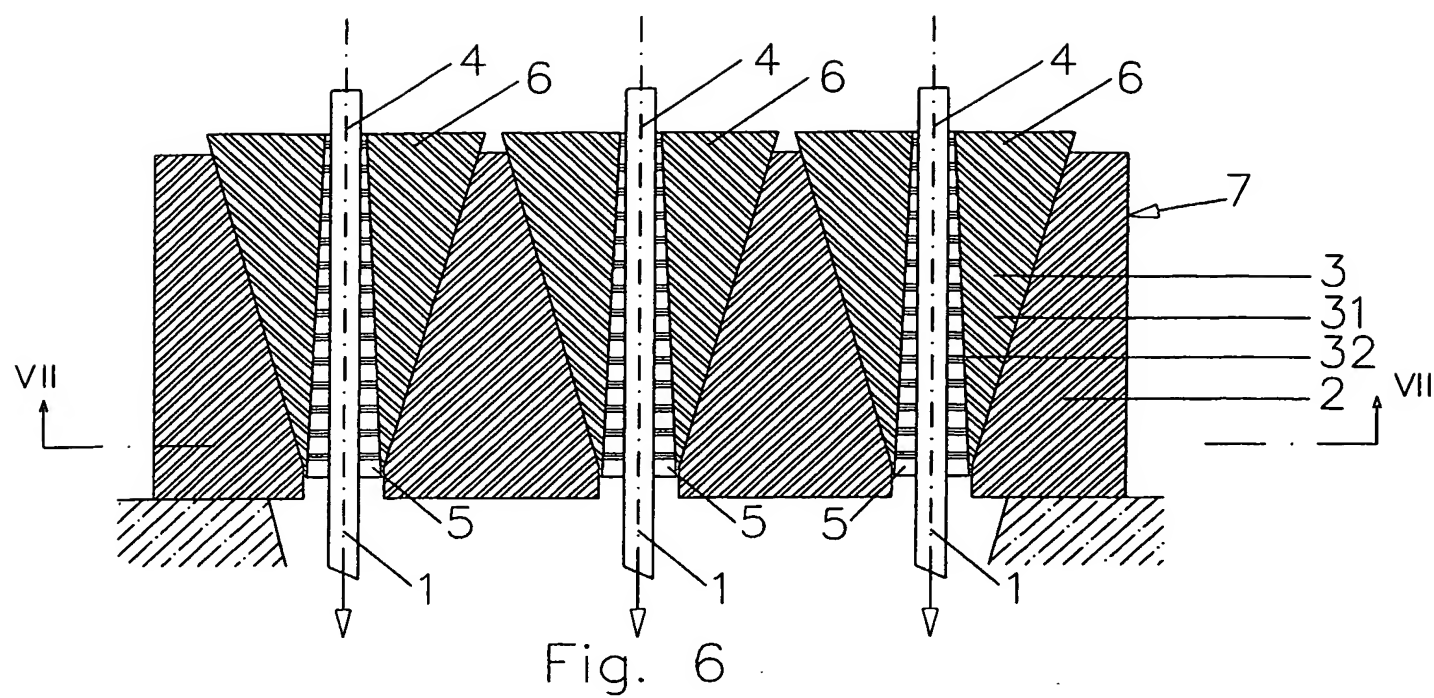


Fig. 5



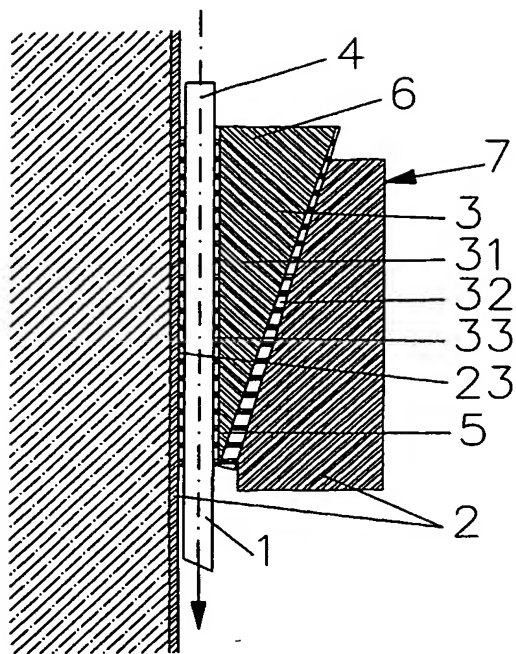


Fig. 8

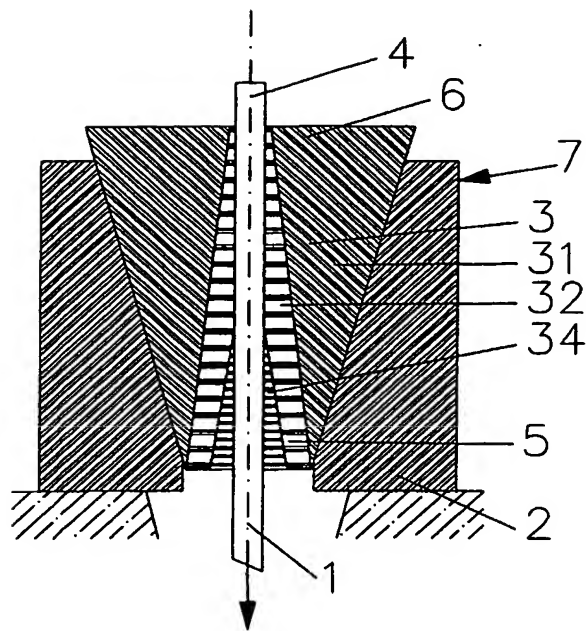


Fig. 9

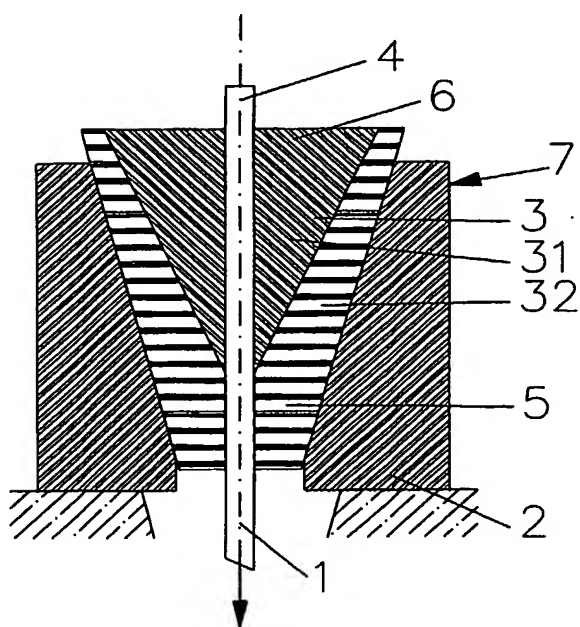


Fig. 10

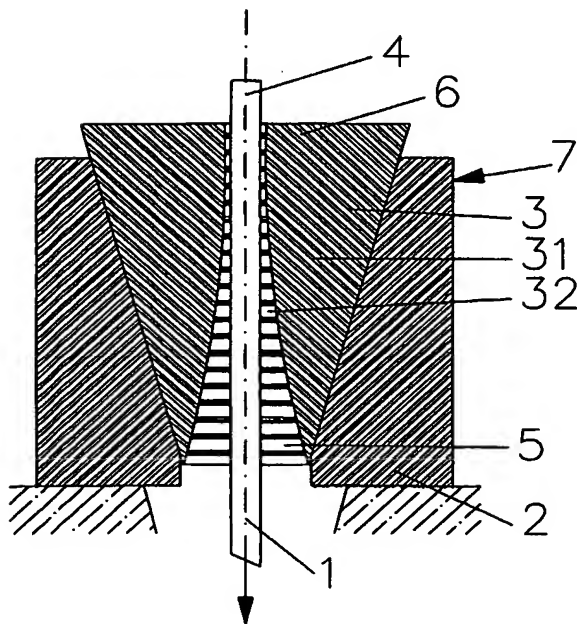


Fig. 11